

Variación de la piezometría y el caudal en cuatro explotaciones de aguas subterráneas en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid.

Por J. G. YELAMOS (*) y F. I. VILLARROYA GIL (**)

RESUMEN

Se analiza con detalle la evolución del caudal y del nivel piezométrico en cuatro explotaciones de aguas subterráneas en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid, en las que se dispone de medidas periódicas de alguna de las dos variables durante al menos seis años. En ninguna de las explotaciones se aprecian síntomas de recuperación: caudales y niveles piezométricos disminuyen continuamente, o bien se estabilizan; en este segundo caso siempre con valores de caudal muy inferiores a los obtenidos en los aforos iniciales.

Las variaciones de piezometría y caudal aparecen siempre controladas principalmente por el régimen de explotación. Parece posible que en los cauces más próximos a los campos de pozos se ha producido un cambio en el sentido del flujo pasando de ser ríos ganadores a perdedores.

Palabras clave: Hidrogeología, Acuífero detrítico de Madrid, Caudal, Nivel piezométrico.

ABSTRACT

The paper analyses in detail the evolution of pumping rates and piezometric levels in four well fields pumping ground-water from the detritic Tertiary aquifer of Madrid. We have periodic measurements of some of these two variables for minimum of six years.

Recovery symptoms are not observed in any well field. Pumping rates and piezometric levels decrease continuously or are stabilized, but in this case, these new pumping rates are always smaller than the initial ones.

The piezometric levels variations and pumping rates seem to be controlled by the regime of exploitation. It seems probable that in the streams nearest to the pumping wells fields is where the change in direction of flow has occurred. Some of them are losing streams in a part of their course at present.

Key Words: Hydrogeology, Detritic aquifer of Madrid, Piezometric levels, Extraction rates.

1. INTRODUCCION

El denominado acuífero del Terciario detrítico de Madrid (o sistema acuífero núm. 03-05, según la reciente nomenclatura adoptada en SGOP-ITGE, 1989) ocupa una superficie de más de 6.000 kilómetros cuadrados dentro de la cuenca

sedimentaria de Madrid; su límite septentrional lo constituyen las rocas ígneas y metamórficas del Sistema Central; por el S y E los materiales yesíferos del centro de la Cuenca, mientras que su zona SO queda limitada por los terrenos ígneos y metamórficos de los Montes de Toledo.

En la década de los sesenta se inició la explotación mediante pozos perforados, que creció con un ritmo acelerado de forma que, en el decenio 1970-80, se perforaron de 1.500 a 2.000 pozos profundos, de los cuales las tres cuartas partes se

(*) Area de Geodinámica. Dpto. de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Univ. Autónoma. 28049 Madrid.

(**) Dpto. de Geodinámica. Facultad de C. Geológicas. Univ. Complutense. 28040 Madrid.

ubicar en el alfoz de la capital (cfr. OCTAVIO DE TOLEDO y LOPEZ CAMACHO, 1980). La explotación actual del terciario detrítico dentro de la Comunidad de Madrid se estima en unos 100 hectómetros cúbicos por año (LLAMAS, 1986), lo que supone del orden de un 20 por 100 del volumen que anualmente suministra el Canal de Isabel II a partir de su red de embalses superficiales.

A la vez que ha aumentado la explotación del acuífero detrítico de Madrid, también ha tenido lugar un notable crecimiento en el número de informes, publicaciones, estudios, etc., sobre éste, de manera que sólo en la década de los setenta el número de documentos fue más del doble que toda la documentación de los años anteriores (cfr. FERNANDEZ URIA y LLAMAS, 1983). Sin embargo, a pesar del creciente interés sobre este acuífero, son escasos los estudios que analizan con detalle la evolución de la piezometría y caudal frente a su explotación.

En el marco de un convenio de investigación establecido entre el Canal de Isabel II y el Departamento de Geodinámica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid, los autores del presente artículo elaboraron dos informes en los que se recopilieron y analizaron los datos históricos de piezometría y caudal de las principales explotaciones, así como de las distintas redes de control piezométrico sobre el acuífero del Terciario detrítico de Madrid. Este trabajo recoge, en parte, los resultados a los que se han llegado en tales estudios, y se han ampliado recabando datos de otras áreas.

2. CARACTERISTICAS GENERALES DEL ACUIFERO DETRITICO DE MADRID

Desde mediados de la década de los setenta todos los estudios sobre el acuífero del Terciario detrítico de Madrid coinciden en considerarlo como un único sistema acuífero de carácter libre, muy heterogéneo y anisótropo, y de gran espesor, constituido por lentejones arenosos inmersos en una matriz arcillosa o areno-arcillosa que actúa como semipermeable. Como modelo conceptual de flujo se admiten las tesis de HUBBERT (1940), de manera que en las zonas de interfluvio las equipotenciales disminuyen de valor al

aumentar la profundidad, mientras que en las proximidades a los cauces de los ríos es al contrario; de esta forma pueden existir sondeos surgentes sin necesidad de recurrir a capas impermeables confinantes. También se admite el esquema de TOTH (1963), que supone la existencia de flujos locales, intermedios y regionales, así como zonas de estancamiento. Se considera que la recarga es a partir de la infiltración eficaz de la lluvia sobre toda la superficie del acuífero, mientras que la descarga se centra en los cauces de los ríos principales. La recarga lateral por los límites del sistema se supone despreciable. Las descargas por evapotranspiración, arroyos efímeros y manantiales se consideran de escasa importancia cuantitativa.

Estas ideas fueron esbozadas en el informe SGOP-CAT (1973), ampliadas en LLAMAS y LOPEZ VERA (1975), y analizadas en detalle para cada una de las cinco subcuencas en las tesis doctorales de LOPEZ VERA (1975), MARTINEZ ALFARO (1977), REBOLLO (1977), VILLARROYA (1977) y SASTRE (1978).

Posteriormente, estudios sobre el acuífero del Terciario detrítico de Madrid en base a hidroquímica convencional [RUBIO (1984) y FERNANDEZ URIA (1984)], hidroquímica isotópica (HERRAEZ, 1983), así como modelos digitales de flujo [LOPEZ-CAMACHO (1977), MARTINEZ ALFARO (1982), IGME (1982)] y de transporte de solutos [LLAMAS y MARTINEZ ALFARO (1980)] han corroborado las hipótesis anteriores sobre el funcionamiento hidráulico de dicho acuífero, o al menos no han rechazado tales supuestos.

La permeabilidad del acuífero detrítico de Madrid es baja, con valores medios del orden de 0.25 m/día (OCTAVIO DE TOLEDO y LOPEZ CAMACHO, 1980). Las transmisividades oscilan generalmente entre 1 y 200 m²/día (IGME-DPM, 1981) para los primeros 200-400 m. de espesor. La anisotropía en los distintos modelos casi siempre se considera igual a 100 (LLAMAS, 1986).

3. ANTECEDENTES

La red de control piezométrico más extensa es la iniciada por el IGME (actual ITGE) en 1977. El número de puntos de control es variable, entre

75 y 125, y la frecuencia tan sólo es bimensual; en la mayoría de los piezómetros no se aprecian variaciones significativas de nivel, en la quinta parte aparece una tendencia al descenso por su proximidad a zonas con explotaciones, mientras que los situados en el área de Parla-Móstoles-Fuenlabrada experimentan ascenso debido al cese de bombeos (cfr. IGME, 1984; IGME, 1986).

En el área definida por esas tres ciudades-dormitorio el SGOP mantiene otra red de control o bien recopila las medidas que efectúan los ayuntamientos; en conjunto se controlan 28 sondeos, las medidas suelen ser mensuales, y también se manifiestan síntomas de recuperación (OCTAVIO DE TOLEDO, 1986).

Igualmente el SGOP mantuvo una red de control piezométrico dentro del término municipal de Madrid, en diez pozos someros (profundidad menor de 30 m.), así como una red de control de caudal en media docena de manantiales; las medidas fueron mensuales y tan sólo durante un año. A partir de los resultados de esta red, LOPEZ CAMACHO et al. (1986) indican que en los niveles piezométricos se aprecia el efecto de las lluvias de finales de otoño, invierno y primavera, mientras que los caudales reproducen de forma amortiguada la variación de las precipitaciones.

En sus respectivas tesis doctorales, LOPEZ VERA (1975), MARTINEZ ALFARO (1977), REBOLLO (1977) y VILLARROYA (1977) realizaron medidas sistemáticas de nivel en unos pocos piezómetros, durante 12-18 meses, con frecuencia mensual o quincenal. La mayor parte de los datos están recogidos en LOPEZ VERA, 1979).

Por último, respecto a la variación temporal de caudales en pozos perforados, OCTAVIO DE TOLEDO (1986) presenta gráficos de evolución mensual del volumen total extraído por el sistema de captaciones que abastece a la Urbanización Santo Domingo.

4. ANALISIS DEL NIVEL PIEZOMETRICO Y DEL CAUDAL EN CADA UNO DE LOS CAMPOS DE POZOS

4.1. INTRODUCCION

A partir de varias fuentes de información, prin-

cialmente de las entidades propietarias de las explotaciones, se analiza el comportamiento de la piezometría y el caudal en cuatro campos de pozos que explotan el acuífero detrítico de Madrid, y de los que se dispone de un control sistemático de una o ambas variables: el sistema de pozos de Fuencarral (destinado a las redes del Canal de Isabel II), las captaciones de una empresa textil en Alcalá de Henares, los pozos de abastecimiento a una ciudad residencial en San Agustín de Guadalix, y los pozos perforados de la extinta Fundación Sur (Batres-Griñón). En la figura 1 puede verse la posición geográfica de las cuatro explotaciones.

4.2. CAMPO DE POZOS DE FUENCARRAL

4.2.1. Características generales

El Campo de pozos de Fuencarral se localiza en el límite N del casco urbano de Madrid, y está compuesto de nueve unidades de captación alineadas según una directriz aproximadamente N-S y con una distancia media entre sondeos de unos 500 m. (fig. 1). Las captaciones tienen una profundidad entre 430 y 550 m. y filtros tipo dúplex de puentecillo que ocupan del orden de un 15 por 100 de la entubación. Son pozos telescópicos, estando situada la principal reducción de diámetro (paso del diámetro de entubación de 450 a 250-300 mm.) a unos 230-260 m. de la superficie.

En el bienio 1973-74 se perforaron los siete pozos denominados FU3, FPX3, FA3, FB2, FC2, FPD1 y FE1 (fig. 1), los cuales explotaron el acuífero detrítico de Madrid de forma casi ininterrumpida (24 horas al día), desde julio de 1975 hasta febrero de 1985. Durante este período de casi diez años, las paradas generales de mayor duración fueron de ocho días en enero de 1980, 28 días en los meses de enero y febrero de 1985 y cinco días en junio del mismo año (YELAMOS, 1987).

En 1984 se perforaron el FA1 y FX4, pero apenas han sido utilizados ya que, desde febrero de 1985, tan sólo se bombea ocasionalmente en orden al mantenimiento de filtros y bombas.

El campo de pozos dispone de un sistema de telecontrol con caudalímetros magnéticos y transductores de presión (denominados «vegas»), de

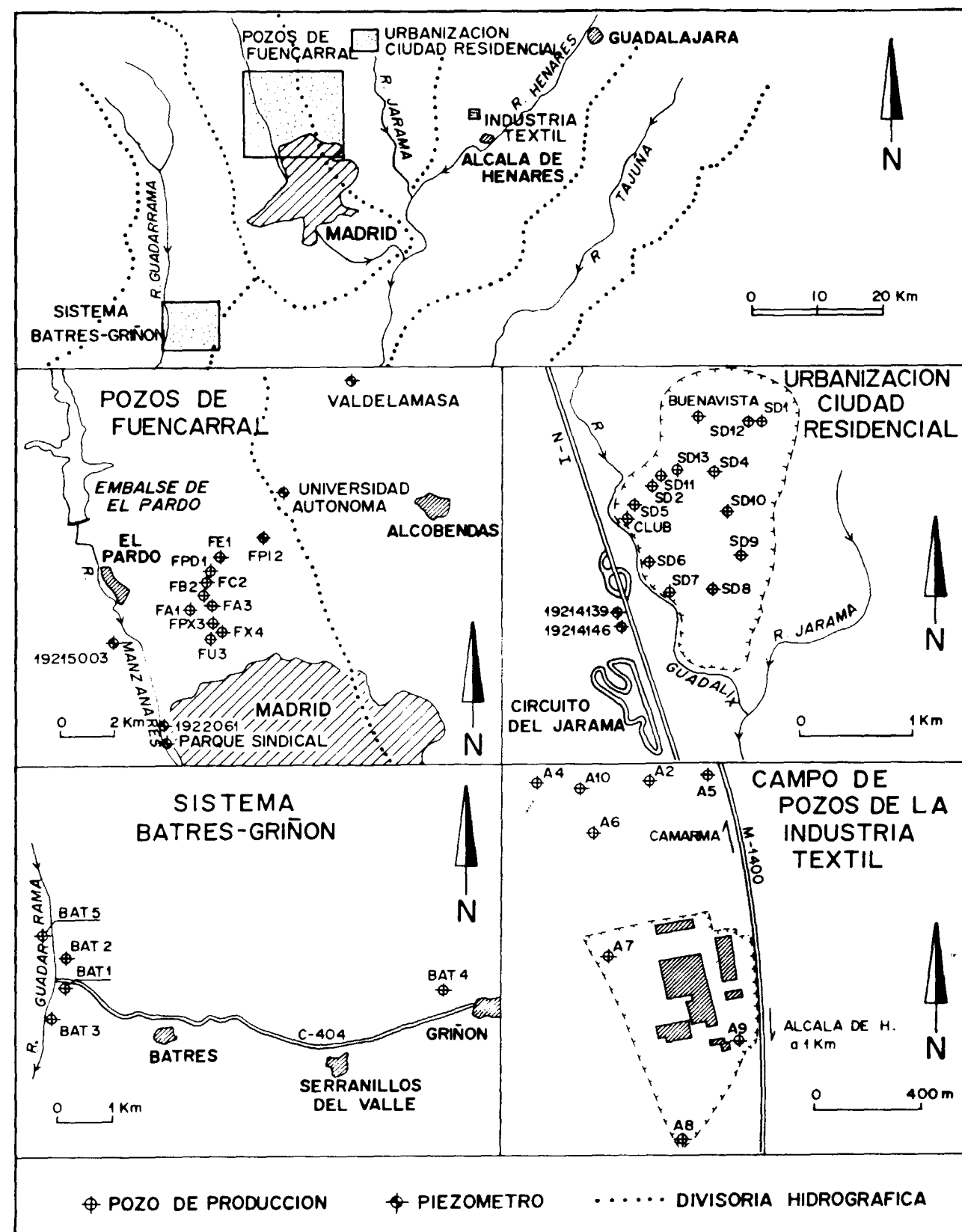


Figura 1.—Situación geográfica de los campos de pozos estudiados.

forma que durante los diez años de explotación se pudo tener un control detallado de caudal y niveles dinámicos, con un promedio de cuatro medidas diarias en cada una de las captaciones. Además se disponía de una red de control piezométrico en cuatro sondeos no equipados. Las medidas solían tener una frecuencia semanal, y en cada piezómetro se estuvo midiendo al menos durante cinco años.

4.2.2. Evolución del caudal y niveles dinámicos

En la figura 2 se representan los valores medios mensuales de caudal y nivel dinámico en dos de los pozos de producción; en los restantes la evolución temporal de ambas variables fue análoga a la de los representados. Los valores de caudal son el promedio, mientras el pozo está en servicio, sin incluir los escasos períodos de parada, mientras que los niveles piezométricos no están mezclados con medidas de nivel dinámico en recuperación. Toda la información se ha obtenido a partir de los registros originales de la empresa que controló la explotación.

A los pocos meses de iniciar la explotación conjunta de los siete sondeos, tiene lugar una fuerte disminución del caudal respecto de los resultados obtenidos en los aforos iniciales. Cuando se efectuaron los aforos, las restantes captaciones estaban paradas, lo que induce a suponer que la reducción de caudal tiene su origen (al menos en parte) por la interferencia entre captaciones.

Durante el bienio 1976-77 el caudal sigue descendiendo, si bien con menor gradiente que en los primeros meses del período de explotación. En la evolución del nivel dinámico hay dos o tres cambios bruscos coincidentes con los momentos en que las bombas son situadas a mayor profundidad a fin de permitir mayores descensos del nivel dinámico; con esta medida se consigue elevar temporalmente el rendimiento de las captaciones, pero desde octubre de 1977 (o junio de 1976, según qué pozo), las bombas quedan situadas a la máxima profundidad que permiten las características constructivas de los sondeos (sobre los 250 m. se encuentra la principal reducción en el diámetro de la entubación), no siendo factible aumentar las depresiones sin riesgos de averiar las bombas al dejarlas sin la mínima columna de agua por encima, de forma

que los niveles dinámicos son mantenidos casi constantemente a 230-240 m. de la superficie hasta el final de la explotación.

Mientras los niveles dinámicos están estabilizados, los caudales continúan con tendencia al descenso. En mayo de 1979 hay un ajuste de los caudalímetros, elevándose el caudal registrado en los siete pozos, mientras que un nuevo ajuste en octubre de 1982 (o abril de 1983, según qué pozo) sitúa el valor de caudal en todas las captaciones por debajo de los valores de mayo de 1979; esta circunstancia nos hace suponer que en el período comprendido entre los dos ajustes hay un error sistemático por exceso en las medidas de caudal; no obstante, aunque los valores absolutos de caudal no fueran correctos, en los gráficos de la figura 2 se puede apreciar cómo, tras producirse una parada, al volver a arrancar las captaciones incrementan temporalmente su caudal, especialmente tras los 28 días de la parada general efectuada entre enero y febrero de 1981; pero, transcurridos como máximo cuatro meses, vuelve a bombearse el mismo caudal que antes de la parada.

En los dos primeros años, las siete captaciones extraían un promedio anual de 340-350 l/s. En 1978 con los niveles dinámicos ya estabilizados a la máxima profundidad posible, se bombea un caudal continuo de 340 l/s. Dejando aparte el período 1978-83 por entender que las medidas son posiblemente erróneas, en 1984, nos encontramos con un caudal medio de 320 l/s.; en octubre de este año entró en producción el FA1, de manera que si descontamos el volumen de agua que aportó, los siete pozos iniciales suministran un caudal continuo de 303 l/s. En seis años de bombeo casi ininterrumpido a nivel dinámico constante, la explotación conjunta tuvo una disminución de caudal de sólo 5 l/s/año.

4.2.3. Red de control piezométrico

Compuesta por cuatro piezómetros de profundidades comprendidas entre los 210 y los 387 m., tiene el interés especial de mostrar claramente cómo la explotación de Fuencarral afectaba a captaciones situadas a varios kilómetros del centro geométrico del campo de pozos.

En la figura 3 se representa la evolución tempo-

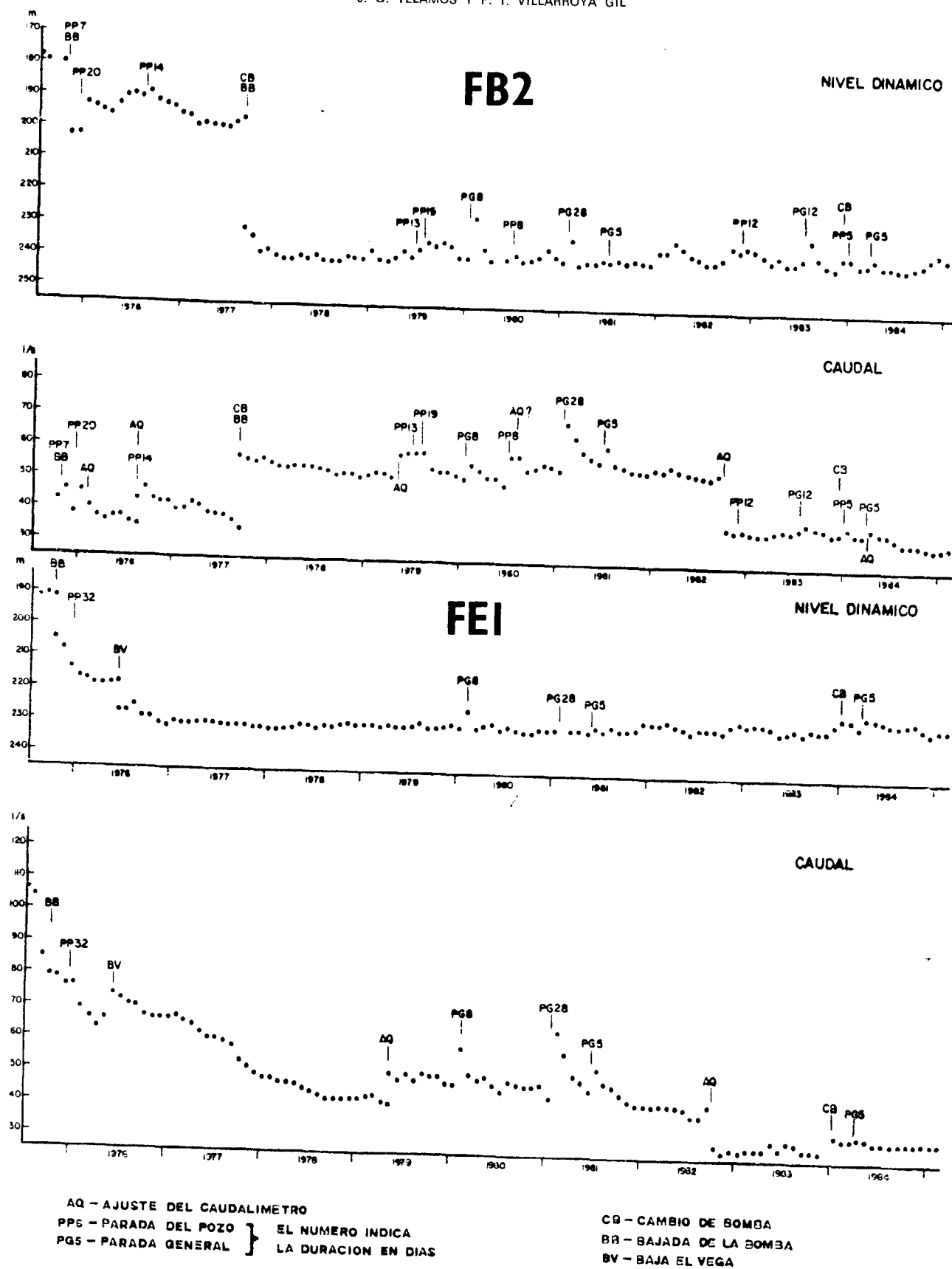


Figura 2.—Evolución del nivel dinámico y el caudal en los pozos FB2 y FE1.

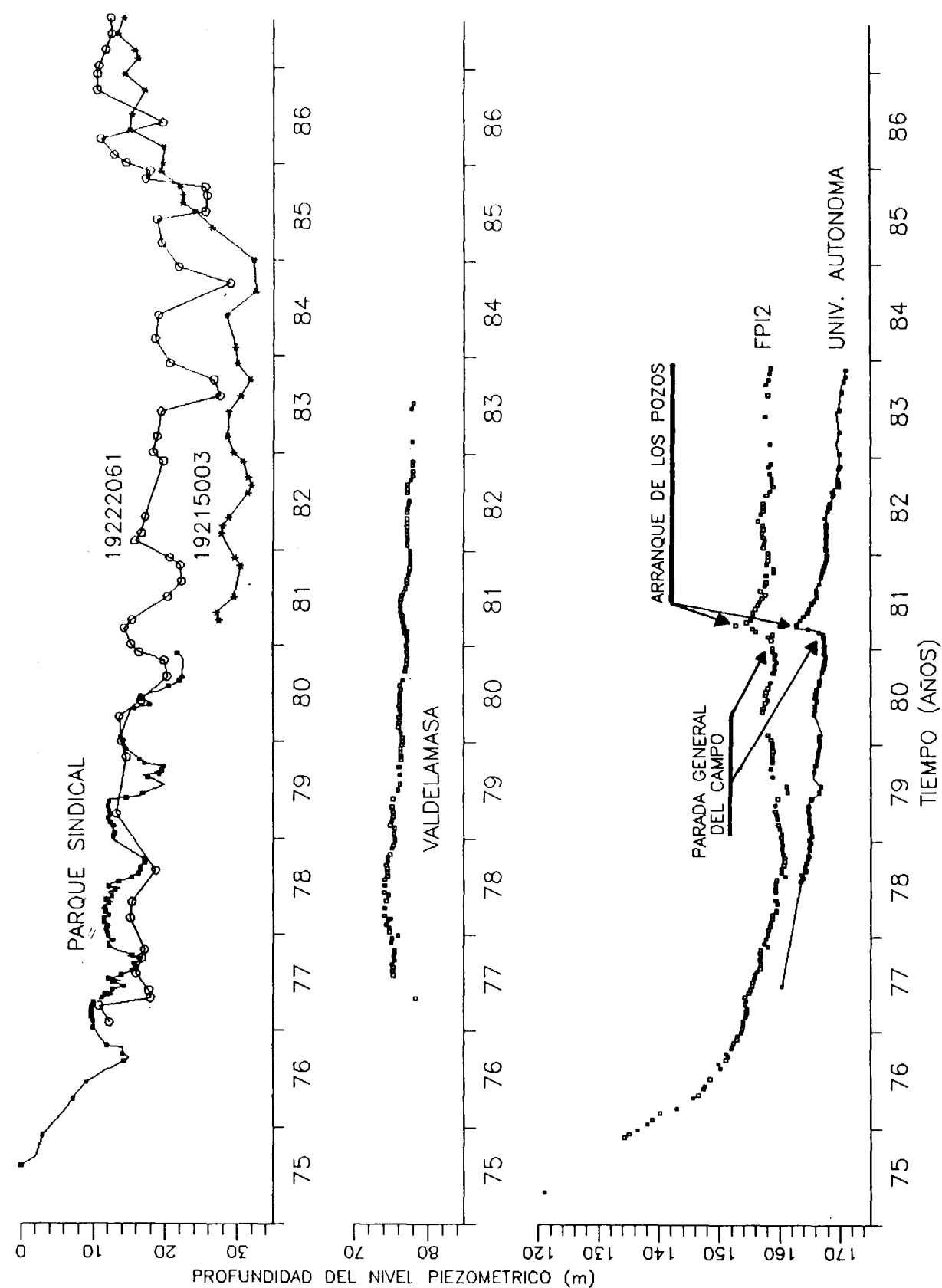


Figura 3.—Evolución de los piezómetros de Fuencarral.

ral del nivel piezométrico en los cuatro sondeos: FPI2, Universidad Autónoma (UAM), Parque Sindical y Valdelamasa. Además, incluyen los datos de dos piezómetros de la red del ITGE (IGME, 1987), que si bien tienen una menor frecuencia presentan la ventaja de cubrir un mayor período de tiempo que los piezómetros de la explotación de Fuencarral.

El FPI2 fue un pozo piloto que no llegó a entrar en producción, situado a unos 3,5 kilómetros del centro geométrico del campo de pozos (fig. 1). Su nivel estático permaneció estable desde que se perforó en 1973 hasta que empezaron a bombear las captaciones de Fuencarral en julio de 1975 (cfr. YELAMOS, 1987); desde entonces, su nivel piezométrico disminuye progresivamente, hasta mediados de 1978; en estos tres años se registra un descenso de casi 40 m., para posteriormente quedar más o menos estabilizado sobre los 155-158 m. de profundidad. Probablemente dicha estabilización sea debida a que desde octubre del año anterior, los niveles dinámicos en los pozos de producción alcanzan su profundidad máxima y permanecen constantes.

En los dos primeros meses de 1981 hay una clara recuperación del nivel en el FPI2 (6 m.), coincidiendo con la principal parada general del campo de pozos de Fuencarral. Tras arrancar de nuevo los pozos, vuelve a descender el nivel estático para situarse otra vez en la banda de 155-158 m. de profundidad. Este hecho es otra prueba de que el piezómetro lógicamente se veía afectado por las siete captaciones de Fuencarral.

El piezómetro UAM está a unos 5 kilómetros del centro geométrico del campo de pozos, y ya dentro de la cuenca hidrográfica del río Jarama; en su gráfica de evolución temporal del nivel piezométrico también se aprecia el efecto de la parada general de 19 días en los dos primeros meses de 1981, recuperándose el nivel 4 m.; luego, la influencia del campo de Fuencarral llegó a atravesar la divisoria de los ríos Manzanares-Jarama. En cambio, el piezómetro Valdelamasa no aprecia el efecto de esa parada, coherentemente con la hipótesis de que al ser el más alejado de las captaciones de Fuencarral (a unos 10 km.), no fue influenciado por ellas.

La gráfica de evolución del nivel piezométrico en el sondeo Parque Sindical muestra un descenso continuo, pero con marcadas oscilaciones

estacionales, estando los mínimos relativos en los meses de verano; estas oscilaciones no pueden tener su origen en la afección por el campo de pozos de Fuencarral, ya que éste mantenía su caudal más o menos constante a lo largo del año. Lo más probable es que dichas oscilaciones estacionales sean debidas a la influencia de pozos en explotación en las cercanías del Parque Sindical que se utilizan preferentemente en verano con destino al riego de zonas verdes. En un radio de 1,5 kilómetros alrededor del Parque Sindical se encuentran varias instalaciones que disponen de pozos perforados como el Real Club Puerta de Hierro, el Club de Campo (ambos disponen de un campo de golf), el Hipódromo de la Zarzuela o el Club Deportivo Playa de Madrid.

No obstante, es prácticamente seguro que el piezómetro Parque Sindical también era afectado por los bombeos de Fuencarral. En este piezómetro se dejó de medir a finales de 1980, no disponiéndose de información relativa a la parada general de 1981, pero en un análisis detallado, de otra parada general de menor duración, en enero de 1980, se pudo apreciar cómo el nivel piezométrico recuperó rápidamente 1 m. (YELAMOS, 1987).

Respecto a los dos piezómetros de la red del ITGE, ambos presentan unas gráficas análogas a las del Parque Sindical: forma sinusoidal con tendencia al descenso, pero desde que cesan los bombeos en Fuencarral (febrero de 1985) inician una fuerte recuperación, especialmente el piezómetro 19215003, el cual se sitúa 1 kilómetro más cerca del campo de Fuencarral que el piezómetro 19222061. Este comportamiento del nivel piezométrico demuestra que también ambos puntos de control estaban afectados por el campo de pozos, y merece destacarse que el 19215003 se encuentra en la margen derecha del río Manzanares, de forma que la influencia de los pozos de Fuencarral rebasaba el cauce del río, donde, en régimen natural, irían a descargar las aguas subterráneas.

El sondeo 19215003 está equipado, pero no se usa de forma continua, así, es probable que los mínimos relativos que presentan durante el estío fueran debidos a bombeos estacionales durante el verano. Por su parte, el 19222061 está a unos 500 m. del Parque Sindical, por lo que, posiblemente, su evolución estacional tenga un ori-

gen común con éste; la influencia de captaciones más cercanas que las de Fuencarral, que se utilicen preferentemente en verano para riego de zonas verdes.

4.3. CAMPO DE EXPLOTACION DE POZOS PARA LA INDUSTRIA TEXTIL

4.3.1. Características generales

La industria textil se ubica en las afueras de la población de Alcalá de Henares (fig. 1). Hace casi veinticinco años que en su recinto se perforaron nueve sondeos con destino al abastecimiento de la industria, con profundidades comprendidas entre los 120 y 150 m. Sólo seis de los sondeos entraron en servicio y continúan empleándose en la actualidad, junto con otro pozo construido en 1974.

Al igual que en el caso del campo de pozos de Fuencarral se trata de una explotación en la que se mantienen los niveles dinámicos constantes a la máxima profundidad posible, bombeando las 24 horas del día todo el año. Los pozos sólo cesan su actividad por averías.

El rendimiento de las captaciones es, con mucho, muy inferior al obtenido en las de Fuencarral, ya que aquéllas atraviesan los materiales de la facies Guadalajara: en los aforos iniciales los caudales solían estar comprendidos entre 1 y 4 l/s.

Inicialmente, todos los sondeos fueron surgentes. No se controlan los niveles piezométricos, pero en el sondeo A1 (fuera de servicio), en noviembre de 1987, el nivel se situaba a 25 m. de profundidad.

4.3.2. Evolución de los caudales

A pesar del relativamente escaso caudal que se extrae en la industria textil, esta explotación presenta el interés de disponer de un control sistemático del caudal en todas las captaciones con frecuencia mensual desde hace más de quince años. En la figura 4 se representan los resultados obtenidos en cuatro de los pozos de producción, así como la suma del caudal conjunto extraído por todas las captaciones.

Por no disponer de un control detallado de las incidencias de la explotación (como sí ocurría en el caso de Fuencarral), no es posible conocer el origen de las variaciones de caudal que se aprecian en los gráficos; quizá la única observación posible es que la tendencia en general es al descenso de los caudales, disminución tanto más acusada cuanto mayor es el caudal del pozo en concreto al inicio de la explotación. Así, destaca especialmente el caso del sondeo A2, que durante los tres primeros años bombea un caudal de unos 11 m³/h., mientras que en los tres últimos años su rendimiento es de tan sólo 4 m³/h. (una reducción superior al 50 por 100). El A6, que en el trienio 1972-74 proporciona unos 7 m³/h., en 1985-87 se encuentra en poco más de 5 m³/h. Respecto al pozo A4, en 1974-75 sobrepasa una producción de 10 m³/h., mientras que en los últimos años ésta se encuentra por debajo de los 5 m³/h. Por último, en los tres primeros años de producción del A7 su caudal promedio son 2,5 m³/h., pero en la segunda mitad de la década de los ochenta se ha reducido a 2 m³/h.

La evolución de caudal de todo el campo de pozos aparece en el gráfico inferior de la figura 4. El máximo rendimiento se obtiene justo al entrar en servicio el A10 (último sondeo que se perforó), alcanzándose un caudal total de 42 m³/h.; en los años siguientes hay un progresivo descenso del rendimiento de la explotación, con un gradiente de descenso en torno a los 2 m³/h/año; los mínimos relativos que aparecen en el hidrograma tienen su origen en simples paradas por averías en uno o dos pozos, tal como se indica en la figura 4. Finalmente, en los últimos cuatro años, parece que el caudal se ha estabilizado en torno a 20 m³/h.

4.4. CAMPO DE EXPLOTACION DE POZOS EN UNA CIUDAD RESIDENCIAL

4.4.1. Características generales

La urbanización privada en cuestión está situada al norte de Madrid, a la altura del kilómetro 29 de la carretera N-I; su abastecimiento de agua se realiza únicamente mediante pozos perforados, habiéndose ejecutado desde finales de la década de los sesenta un total de 15 sondeos, de los cuales cinco ya están fuera de servicio. Las captaciones tienen entre 240 y 300 m. de pro-

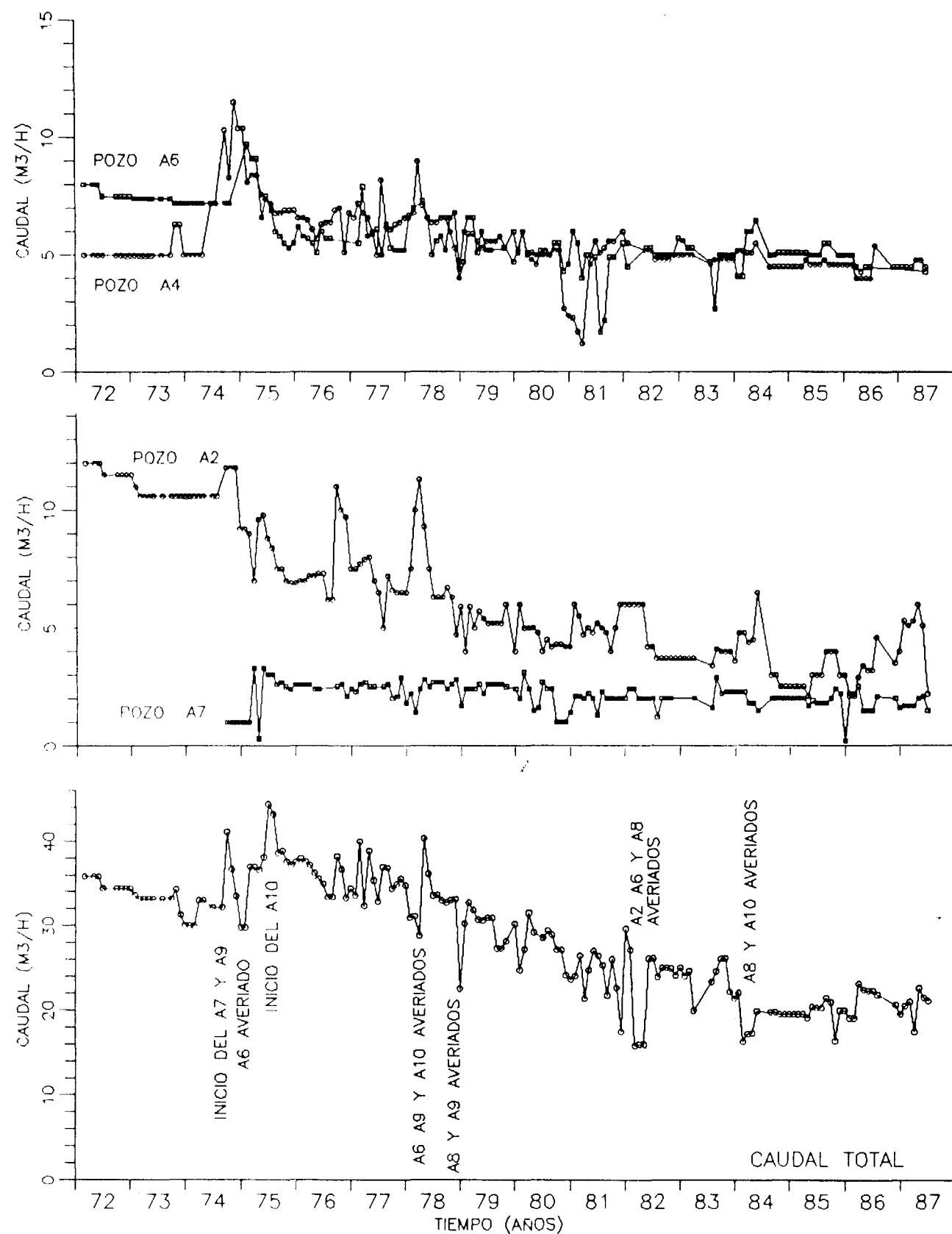


Figura 4.—Evolución del caudal en los pozos de la industria textil.

fundidad, y sus caudales en los aforos iniciales unitarios oscilaron entre 7 y 10 l/s.

A diferencia de las explotaciones de Fuencarral y de la industria textil que mantienen un ritmo sostenido de bombeo durante todo el año, las captaciones de la ciudad residencial bombean de forma discontinua en función de las necesidades de la urbanización. Destaca una fuerte punta en los meses de verano; así, en 1987, el volumen extraído en el mes de julio fue ocho veces superior a las necesidades de agua de enero. Básicamente, esta punta es debido a que de las 26,4 Ha de que dispone la urbanización, más del 50 por 100 están ocupadas por zonas verdes que precisan ser regadas durante el estío.

El número de unidades de captación ha ido creciendo paralelamente con el incremento de habitantes de la urbanización, a la vez que iban menguando los caudales de los pozos ya existentes. En agosto de 1975 se disponía de cinco pozos en servicio y otros tres habían sido abandonados; hasta 1980 se añaden cinco captaciones más, mientras que el pozo más reciente data de 1986.

4.4.2. Evolución de caudales

En el gráfico superior de la figura 5 aparecen representadas las variaciones del caudal en tres de los pozos perforados que abastecen a la urbanización. Las medidas no tienen una frecuencia concreta y tampoco disponemos de un control detallado de los períodos de parada y funcionamiento de las bombas. Pero, a pesar de estas limitaciones, se puede reconocer que en todos los sondeos hay una tendencia al descenso junto con una variación estacional muy clara, donde los valores mínimos corresponden a los meses de verano, en plena consonancia con el hecho ya indicado de que es en ese período cuando las captaciones se emplean al máximo.

Además, en el caso de los dos pozos más antiguos (SD7 y SD11), existe un claro cambio en el gradiente de descenso a partir del bienio 1979-80; durante los 5-6 primeros años el SD11 pierde un caudal de unos 2,5 l/s/año y el SD7 1,5 l/s/año, mientras que con posterioridad a 1979-80, sus descensos son del orden de 0,3 y 0,6 l/s/año, respectivamente. Al igual que en el caso de las variaciones estacionales, este cambio es debido

a una modificación en el ritmo de bombeo del campo de pozos. Por un lado, desde 1973 a 1977 la demanda de agua de la urbanización crece a un promedio anual del 20,5 por 100 acumulativo, y a partir de 1978 se estabiliza entre 0,8 y 1,0 hm³/año (cfr. OCTAVIO DE TOLEDO, 1986). Por otra parte, en 1978 se perforaron tres nuevos sondeos, y otros dos más en el bienio siguiente (entre estos el SD12, que es el de mayor rendimiento de toda la explotación). Estas dos circunstancias implican una disminución en el tiempo unitario de bombeo para cada pozo, y por ende la disminución del gradiente de descenso de caudal en los pozos ya existentes.

Desde 1983, el pozo SD12 es el único que se bombea a lo largo del año, quedando los restantes para cubrir las puntas de demanda, permaneciendo parados al menos cinco meses al año. Desde entonces, el caudal en el SD12 ha sufrido una merma de unos 0,5 l/s/año, y también refleja una disminución en los meses de verano al incrementarse el número de horas de bombeo al día.

4.4.3. Evolución del nivel piezométrico

El registro temporal de medidas de nivel piezométrico es más corto que el de caudales; tampoco las medidas de nivel piezométrico tienen una frecuencia concreta, y se mezclan medidas de nivel dinámico junto con valores de niveles piezométricos en recuperación. La evolución del nivel piezométrico en dos de los pozos de producción pueden apreciarse en el gráfico inferior de la figura 5, junto con los valores de los dos piezómetros de la red del ITGE más próximos a la urbanización (19214139 y 19214146).

La pauta de variación del nivel piezométrico en los pozos de producción es análoga a la del caudal: tendencia general al descenso, sin claros síntomas de estabilización, y valores mínimos muy acusados durante los meses de verano al ser en esta época cuando los pozos perforados se emplean al máximo. A grandes rasgos el nivel piezométrico desciende del orden de 5 m. al año, pero hay que tener presente que este gradiente puede variar notablemente en función del tiempo concreto que estén los pozos funcionando.

Los dos piezómetros de la red del ITGE también

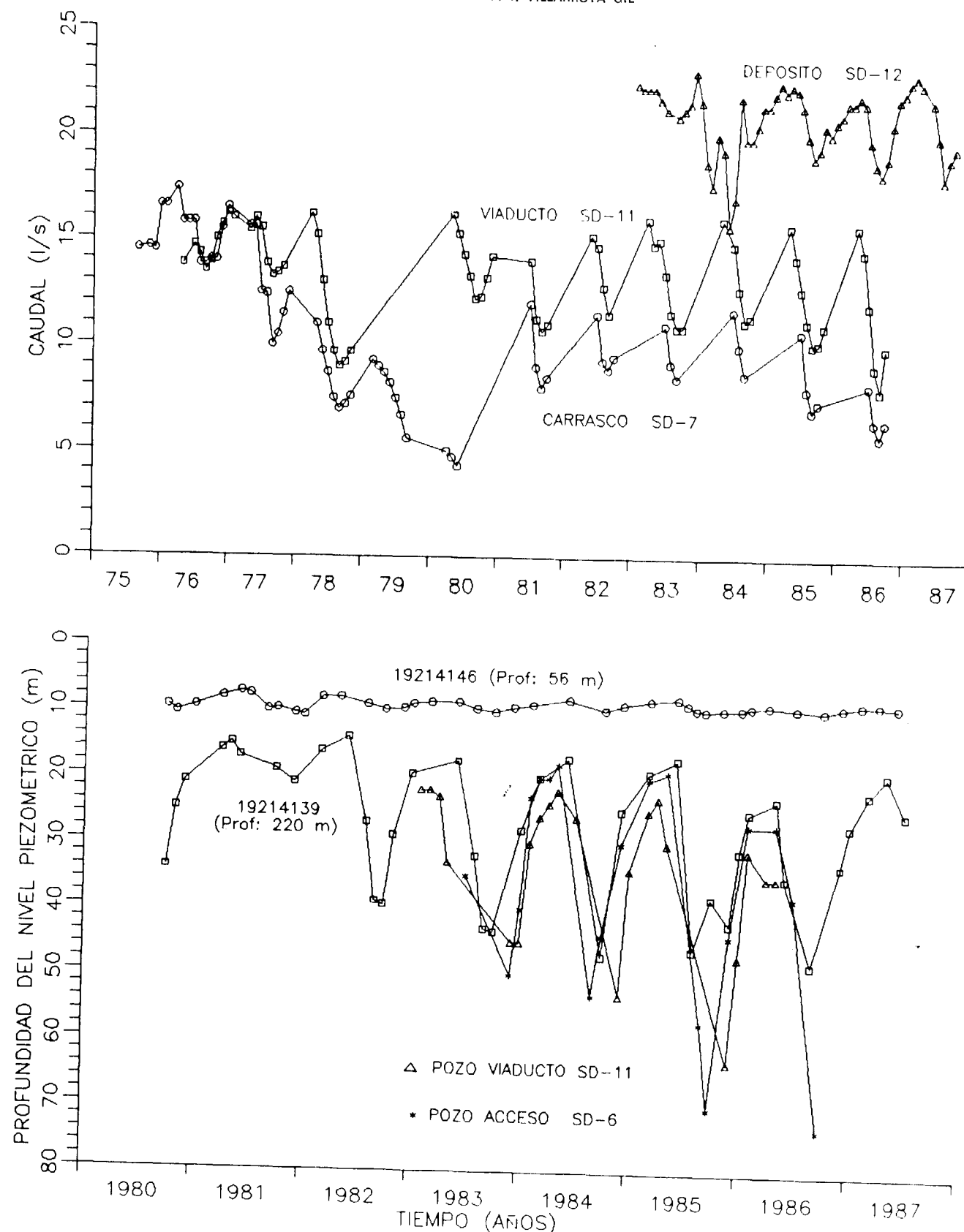


Figura 5.—Evolución del caudal y nivel piezométrico en los pozos de la Urbanización.

presentan una evolución estacional con los máximos descensos durante la estación veraniega. Pero hay un fuerte contraste entre la gráfica del 19214146 y el 19214139; mientras que en el primero el nivel piezométrico se mantiene constante y con ligeras oscilaciones de 1-2 m., en el segundo la piezometría muestra una tendencia muy similar a la de las captaciones de la Urbanización: descenso continuo con bruscas bajadas en los meses de verano.

Los piezómetros están juntos (distanciados tan sólo unos 150 m.), y en realidad no son perforaciones de pequeño diámetro con la finalidad exclusiva de medir la profundidad del nivel del agua, sino que se trata de pozos perforados que según la fuente de información consultada (IGME, 1987) no están en servicio. La diferencia básica entre ambos piezómetros parece ser que es la profundidad; el que mantiene su nivel constante tiene tan sólo 56 m., mientras que el 19214139 alcanza los 220 m., o sea, una profundidad similar a la de las captaciones de la ciudad residencial.

Estas consideraciones nos llevan a suponer la hipótesis de que la diferencia de comportamiento entre ambos piezómetros puede ser debida a que el 19214139 está influenciado por los bombeos de la ciudad residencial (o quizá por otros pozos más próximos al piezómetro y que se usen principalmente durante el estío), mientras que el comportamiento del piezómetro de menor profundidad es posible que esté determinado por la existencia de un acuífero local colgado, al que apenas afectarían los bombeos en pozos perforados de relativa profundidad.

4.5. CAMPO DE POZOS DE BATRES-GRIÓN

4.5.1. Características generales

Se compone de cuatro pozos perforados dentro del término municipal de Batres, muy próximos al cauce del río Guadarrama, y otro pozo más en la localidad de Griñón, cerca de la divisoria Guadarrama-Jarama. Fueron diseñados para el abastecimiento de ocho localidades situadas al SO de la Comunidad Autónoma de Madrid. Las captaciones eran propiedad de la extinta Fundación Sur, actualmente anexionada al Canal de Isabel II.

Los sondeos fueron perforados entre 1978 y 1980, con profundidades entre los 150 y los 300 m. En los aforos iniciales unitarios se obtuvieron caudales de 26 a 60 l/s., con descensos de 20 a 65 m.

Aunque la red de distribución de la Fundación Sur alcanzaba a las poblaciones de Griñón, Torrejón de la Calzada, Torrejón de Velasco, Pinto, Valdemoro, San Martín de la Vega, Ciempozuelos y Titulcia, no todas las poblaciones se abastecían al 100 por 100 por estos pozos, ya que Griñón y Torrejón de la Calzada disponen de un sistema de abastecimiento autónomo, mientras que a Pinto también le suministraba Agua el Canal de Isabel II (VILLARROYA, 1988).

Hasta 1986, la explotación de los cinco pozos fue de unos 3,5 hm³/año. Al año siguiente, el Canal de Isabel II conecta su red de abastecimiento con la de la antigua Fundación Sur, lo que al parecer ha supuesto la paralización casi total de los bombeos.

4.5.2. Evolución de la piezometría y los caudales

Disponemos de medidas desde el inicio de la explotación hasta mediados de 1986, en que la empresa que construyó los pozos dejó de encargarse del mantenimiento de las instalaciones del campo. Parece ser que desde entonces ya no se controlan los niveles.

El pozo Batres-I tiene el tubo piezométrico obstruido, y al igual que el Batres II no dispone más de registro de caudal desde 1983. En la figura 6 se recogen las variaciones de profundidad del nivel piezométrico y del caudal para las captaciones Batres-III, IV y V, que son las que tienen un registro más amplio de ambas variables.

Análogamente al caso de la ciudad residencial, no parece existir un registro detallado de los períodos de paradas y de servicio; los pozos arrancaban y paraban en función de las necesidades de la demanda. El control de nivel piezométrico era independiente de si el pozo estaba o no bombeando, de forma que en los gráficos se mezclan valores de nivel estático y nivel dinámico.

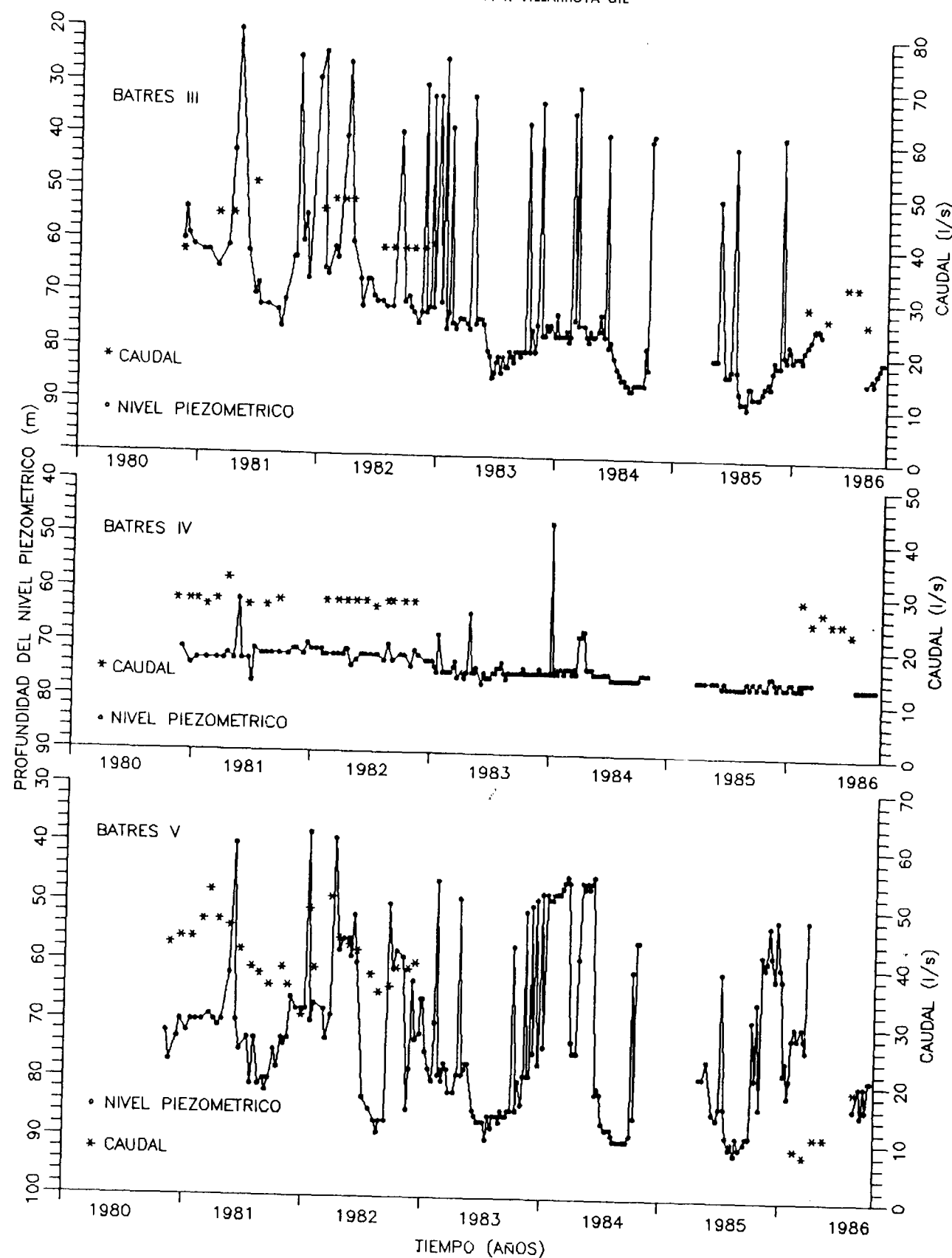


Figura 6.—Variación de la piezometría y el caudal en los pozos Batres III, Batres IV y Batres V.

El pozo Batres-IV, situado en el interfluvio Guadarrama-Jarama, era el más utilizado de los cinco (SUSO, comunicación personal, 1989); en su gráfica de la figura 6 la mayoría de los niveles piezométricos deben de ser dinámicos; éstos muestran una ligera tendencia al descenso, con un gradiente de unos 0,75 m/año.

En cambio, los sondeos Batres-III y Batres-V (situados en zonas de valle), presentan unas gráficas de evolución del nivel piezométrico en forma de «dientes de sierra», indicando mayores períodos de parada que el Batres-IV. También se aprecia que las máximas depresiones del nivel se concentran durante los meses del estío. Otro contraste con el Batres-IV es el mayor gradiente de descenso de estos dos: de unos 3,5 m/año para el Batres-III y unos 2,25 m/año para el Batres-V.

En relación a los caudales, de nuevo es el Batres-IV quien apenas desciende (a pesar de ser el pozo más utilizado): en 1981-82 su caudal ronda los 28 l/s., mientras que en 1986 se indican 26 l/s., igual que el obtenido en el aforo inicial unitario. En cambio, las captaciones situadas en el fondo del valle del Guadarrama descienden notablemente su rendimiento: el Batres-III pasa de 45-50 l/s. a unos 30 l/s. en los últimos registros, y sobre todo el Batres-V, que si al comienzo de la explotación suministraba unos 40 l/s., al llegar a 1986 su caudal se ha reducido algo más del 50 por 100.

5. DISCUSION

De los cuatro campos de bombeos analizados, indudablemente es el de Fuencarral el que mayor interés hidrogeológico presenta, no sólo por ser el de mayor volumen de agua extraído, sino también por disponer de medidas sistemáticas de nivel piezométrico y caudal, un control detallado de todas las incidencias de la explotación, y una pequeña red de piezómetros propia.

La información recopilada durante el período en que estuvo en servicio demuestra claramente que la influencia de sus captaciones se hacía notar en un radio de varios kilómetros, rebasando la divisoria hidrográfica Manzanares-Jarama, así como el cauce del primero de estos dos ríos. Este hecho lleva a suponer que por causa de la

explotación de Fuencarral, sumada a la existencia de otras captaciones de menor importancia y cercanas al río (como las indicadas en el apartado 4.2.3.), el río Manzanares pudo pasar a ser perdedor en parte de su trazado, en lugar de constituir una zona de descarga natural de las aguas subterráneas del acuífero del Terciario detrítico de Madrid.

Otro apoyo a esta tesis lo encontramos en un inventario exhaustivo de puntos de agua que realizamos en noviembre de 1985 (YELAMOS, 1986), el cual cubría el cauce del río Manzanares desde su confluencia con el arroyo de Trofa hasta el Puente de Segovia; todas las medidas de nivel estático en pozos perforados situados a menos de 1 kilómetro del cauce del río estaban por debajo de la cota de éste, y, sin embargo, la mayoría de los sondeos habían sido surgentes en origen.

En los otros tres campos de pozos, al no disponer de una red piezométrica propia ni de un control detallado de las incidencias de la explotación, se hace más difícil evaluar, ni siquiera cualitativamente, la influencia de estas explotaciones en el sistema de flujo del acuífero.

En las captaciones de Batres-Griñón los sondeos Batres-III y Batres-V están muy próximos al cauce del río Guadarrama (fig. 1) y sus niveles dinámicos se mantuvieron claramente por debajo de la cota de éste, lo cual invita a suponer que también el río Guadarrama haya perdido, en aquella zona, una buena parte de la aportación que secularmente le ofrece el acuífero terciario detrítico.

Con respecto a la explotación de la urbanización, ya se indicó que la evolución de un piezómetro de la red del ITGE coincide con las variaciones de nivel en los sondeos para abastecimiento de la misma; éstos se ubican en la margen izquierda del río Guadalix y el piezómetro en la margen derecha (fig. 1) sería muy arriesgado afirmar que la influencia de los pozos de la ciudad residencial es la causa de las variaciones de nivel en ese piezómetro sin disponer de un inventario muy completo de los puntos de agua de ese área; pero teniendo en cuenta que sondeos como el SD6 y SD7, sitios a menos de 200 m. del río Guadalix, fueron inicialmente surgentes, y sus niveles estáticos desde 1985 están, al menos, a 15 m. de profundidad, es coherente

suponer que el río haya pasado a ser perdedor a causa de las extracciones de agua para la urbanización.

En todas las captaciones estudiadas, tanto el caudal como el nivel piezométrico muestran un descenso continuo, o bien se estabilizan, pero no se aprecian síntomas de recuperación salvo en el caso de que cesen o disminuyan las extracciones de agua. Merece destacarse el hecho de que en el caso de sondeos con caudales más o menos estabilizados, el caudal que se mantiene es claramente inferior al registrado en los aforos iniciales; como tónica general hay una reducción del rendimiento del orden de un 50 por 100. Sería conveniente tener presente esta circunstancia en los estudios que pretenden evaluar los recursos que puede suponer el acuífero terciario detrítico para el abastecimiento al alfoz de Madrid.

Finalmente, no se aprecia que factores naturales, tales como la recarga del acuífero, a partir de la infiltración eficaz de la lluvia, o períodos de sequía como el de 1979-82, tengan influencia en la variación de caudal y/o nivel piezométrico de las captaciones en servicio. Los sondeos de la Ciudad Residencial o los pozos Batres-III y V disminuyen sus caudales y descienden sus niveles en los meses de verano, pero es claro que esto es debido a que en esa época es cuando se extraen mayores volúmenes de agua.

En las explotaciones de Fuencarral y de la industria textil que mantienen su régimen de bombeo constante a lo largo del año no se registran descensos de caudal y/o nivel piezométrico en el verano, ni recuperaciones durante la época de lluvias.

Es conocido que 1979-82 fue un período especialmente seco en la zona de Madrid, de manera que el Canal de Isabel II realizó una campaña para ahorrar el consumo de agua, pero sin llegar a restricciones. Tampoco se aprecia que esta sequía afectase al rendimiento de las cuatro explotaciones. Incluso por esas fechas en la urbanización hay recuperación de caudales y niveles al modificarse las pautas de bombeo. El factor de mayor peso en los cuatro campos de pozos analizados es siempre el régimen de la explotación.

6. CONCLUSIONES

A partir de los registros de piezometría y caudal en cuatro campos de pozos de los más importantes en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid, controlados durante un período de al menos seis años, se refleja que ambas variables o bien descienden progresivamente, o bien se estabilizan, pero con valores de caudal muy inferiores a los obtenidos en los aforos iniciales.

También hay evidencias de que la influencia del principal campo de pozos (el de Fuencarral) alcanzaba distancias de varios kilómetros y que, posiblemente, los ríos Manzanares, Guadarrama y Guadalix hayan dejado de ser efluentes en parte de su recorrido sobre el acuífero Terciario detrítico de Madrid, al menos temporalmente.

En las cuatro explotaciones el factor que cobra mayor importancia en la evolución de la piezometría y los caudales es siempre el régimen de explotación de las captaciones. No se aprecia influencia de la recarga a partir de la infiltración eficaz de la lluvia, ni descensos generalizados atribuibles al período seco 1979-82; es posible que ambos fenómenos estén enmascarados por aquel factor. En cualquier caso, los piezómetros utilizados (pozos profundos), posiblemente no son los más idóneos para analizar ambos fenómenos, y sería recomendable un estudio detallado de las variaciones del nivel piezométrico en este acuífero, pero contando con sondeos diseñados exprofeso para tal fin.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a aquellas personas y organismos que amablemente nos permitieron la recopilación de los datos históricos de las cuatro explotaciones.

Al ITGE por los datos de su red piezométrica.

Al Canal de Isabel II y al SGOP, por las facilidades prestadas en la consulta de toda la documentación relacionada con los pozos de Fuencarral.

Los datos de Batres-Griñón fueron cedidos por FINA IBERICA, S. A.

Vaya nuestro agradecimiento a los señores López Angueira, Ovejero y Villaba por la información proporcionada sobre las captaciones de la ciudad residencial, la industria textil y el Sistema Batres-Griñón, respectivamente.

REFERENCIAS

- FERNANDEZ URIA, A. (1984): *Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en el sector oriental de la Cuenca de Madrid*. Tesis Doctoral. 2 tomos. Facultad de Ciencias. Univ. Autónoma de Madrid.
- FERNANDEZ URIA, A., y LLAMAS, M. R. (1983): *La evolución de la bibliografía hidrogeológica de la región madrileña como índice del desarrollo de las aguas subterráneas de la zona*. III Simposio Nacional de Hidrogeología. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, 9, 549-558. Madrid.
- HERRAEZ, M. I. (1983): *Análisis de las variaciones de los isótopos ambientales estables en el sistema acuífero detrítico terciario de Madrid*. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias. Univ. Autónoma. Madrid.
- HUBBERT, M. K. (1940): *The Theory of ground-water motion*. The Journal of Geology, XLVIII (8), 785-944.
- IGME (1982): *Estudio de las alternativas de utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas en las cuencas del Guadiana y Tajo. Modelo hidrogeológico digital del Terciario detrítico. Esquema general de gestión integrada en la Cuenca del Tajo*. Informe interno número 35108. Madrid.
- IGME (1984): *Evolución piezométrica de los sistemas acuíferos núms. 14, 15 y 17 de la Cuenca del Tajo. Análisis del período 1977-82. Primer informe*, 66 pp. Madrid.
- IGME (1986): *Proyecto para la vigilancia y control de los acuíferos en las cuencas del Norte, Tajo, alto Guadiana, alto Guadalquivir y Duero. Informe final de evolución piezométrica de la Cuenca del Tajo. Período julio-agosto de 1985 a mayo de 1986*. Informe interno núm. 35163. 3 tomos. Madrid.
- IGME (1987): *Proyecto para desarrollo del plan de gestión y conservación de acuíferos en las cuencas medio-baja del Júcar, Pirineo Oriental, Duero, Ebro, Guadiana y Tajo, 1986-87. Informe de evolución piezométrica de la Cuenca del Tajo*. Informe interno. Madrid.
- IGME - DIPUTACION PROVINCIAL DE MADRID (1981): *Atlas hidrogeológico de la provincia de Madrid*. Madrid.
- LOPEZ-CAMACHO, B. (1977): *Estudio del agua subterránea en medios heterogéneos y anisótropos mediante un modelo digital bidimensional: aplicación a la región de Madrid*. Memoria de la beca concedida por el colegio de I. C. C. P., 106 pp. Madrid.
- LOPEZ-CAMACHO, B.; BASCONES, M., y DE BUSTAMANTE, I. (1986): *El agua subterránea en Madrid*. Bol. de Informaciones y Estudios, 46, 127 pp. SGOP. Madrid.
- LOPEZ VERA, F. (1975): *Hidrogeología de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid*. Tesis Doctoral, 3 tomos. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.
- LOPEZ VERA, F. (1979): *Variación de la piezometría en el acuífero del Terciario Detritico de Madrid*. Acta Geológica Hispánica, 14 (Homenaje a Luis Solé Sabarís), 405-409. Barcelona.

LLAMAS, M. R. (1986): *Las aguas subterráneas de Madrid: esperanzas y preocupaciones, datos e incertidumbres, posibles líneas de acción*. PIAM, 12, 13-36. Canal de Isabel II. Madrid.

LLAMAS, M. R., y LOPEZ VERA, F. (1975): *Estudios sobre los recursos hidráulicos subterráneos del Area Metropolitana de Madrid y su zona de influencia: avance de las características hidrogeológicas del Terciario detrítico de la Cuenca del Jarama*. Agua, 88, 36-55. Centro de Estudios de Investigación y Aplicaciones del Agua. Barcelona.

LLAMAS, M. R., y MARTINEZ ALFARO, P. E. (1980): *Análisis preliminar mediante modelos digitales de la edad de las aguas subterráneas del acuífero terciario de Madrid*. Primera Reunión Nacional sobre Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 2, 589-608. Santander.

MARTINEZ ALFARO, P. E. (1977): *Hidrogeología de los materiales terciarios y cuaternarios de la Cuenca del río Manzanares*. Tesis Doctoral, 3 tomos. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.

MARTINEZ ALFARO, P. E. (1982): *Análisis del funcionamiento del sistema hidrogeológico de la Fosa del Tajo mediante un modelo digital tridimensional*. Informe interno del Proyecto de Investigación «Hidrogeología de grandes cuencas sedimentarias. Modelos digitales para el análisis del flujo. Aplicación a las Cuencas del Tajo y Tucsón». SGOP y Univ. de Arizona. Inédito. Memoria, 79 pp. Madrid.

OCTAVIO DE TOLEDO, F. (1986): *Experiencias de explotación de aguas subterráneas en la Comunidad de Madrid*. PIAM, 12, 269-286. Canal de Isabel II. Madrid.

OCTAVIO DE TOLEDO, F., y LOPEZ-CAMACHO, B. (1980): *El papel de las aguas subterráneas en la ordenación de Alfoz de Madrid*. Primera Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 2, 575-588. Santander.

REBOLLO, L. (1977): *Estudio hidrogeológico regional de las cuencas media y baja del río Guadarrama*. Tesis Doctoral, 3 tomos. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.

RUBIO, P. (1984): *Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en el sector occidental de la Cuenca de Madrid*. Tesis Doctoral, 2 tomos. Fac. de Ciencias. Univ. Autónoma. Madrid.

SASTRE, A. (1978): *Hidrogeología regional de la cuenca terciaria del río Alberche*. Tesis Doctoral. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.

SGOP - CAT (1973): *Estudio de las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas de la zona comprendida entre las cuencas de los ríos Guadarrama y Henares*, 4 tomos. Madrid.

SGOP - ITGE (1989): *Estudio de delimitación de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e islas Baleares y síntesis de sus características*. Estudio 07/88. Madrid.

TOTH, J. (1963): *A theoretical analysis of ground-water*

flow in small drainage bassins. Journal of Geophysical Research, 68 (16), 4795-4812.

VILLARROYA, F. I. (1977): *Hidrogeología regional del Neógeno detrítico Cuaternario de la Cuenca del río Henares*. Tesis Doctoral, 3 tomos. Fac. de Geología. Univ. Complutense. Publicado en 1983 por Edit. Univ. Complutense. Colección Tesis Doctorales, núm. 147/83, 745 pp. Madrid.

VILLARROYA, F. I. (1988): *Análisis de la evolución histórica del acuífero Terciario ante los bombeos principales*.

Informe interno para el Canal de Isabel II. Memoria, 136 pp. Madrid.

YELAMOS, J. G. (1986): *Estudio de la Hidrogeología e Hidrogeoquímica en el sector NO del casco urbano de Madrid*. Tesis de Licenciatura, 152 pp. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.

YELAMOS, J. G. (1987): *Informe de recopilación y análisis preliminar de los datos del campo de pozos de Fuencarral (años 1972-1985)*. Informe interno para el Canal de Isabel II. Memoria, 184 pp. Inédito. Madrid.

Original recibido: Octubre de 1990.

Original aceptado: Marzo de 1991.